

## غلظت عناصر سنگین و سمی در پایین دست باطله‌های معدنی مس سونگون و نقش بستر آهکی رودخانه در کاهش غلظت آلاینده‌ها

رضا محجوبی<sup>۱</sup>، محمد حسن پور صدقی<sup>۲\*</sup>، عبدالرضا واعظی هیر<sup>۳</sup>، نادر مظاهری<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۴. کارشناس ارشد محیط زیست، مجتمع مس آذربایجان، شرکت ملی صنایع مس ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۱/۲۹، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۵/۲۷)

### چکیده

هر رودخانه ظرفیت پذیرش آلاینده‌های ورودی و خودپالایی آن را تا حدود معینی دارد، بنابراین بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها و آگاهی از روند تغییرات توان خودپالایی، از اهمیت زیادی برخوردار است. آب‌های خروجی فعالیت‌های معدن کاری مس سونگون واقع در شمال غرب ایران که در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها جریان می‌یابد، منجر به افزایش بار فلزات سنگین در رودخانه‌ها می‌شود. به این منظور، در محدوده معدن مس سونگون در ۹ ایستگاه از رودخانه‌های سونگون‌چای، پخیرچای، ارغنه‌چای، میانکافه و ایلگینه نمونه‌برداری انجام گرفت و پارامترهای pH، EC، TDS، TSS و غلظت فلزات سنگین آنالیز شد. شاخص فلزی و شاخص آلودگی فلز سنگین HPI برای بررسی آلودگی فلزات سنگین استفاده شد. میزان کاهش آلاینده‌ها طی مسیر رودخانه و همبستگی این تغییرات با pH که از مهم‌ترین عوامل مؤثر در خودپالایی رودخانه است، بررسی شد. همچنین، رابطه بین غلظت آلاینده‌ها در رودخانه با غلظت عناصر سنگین در خاک و رسوب منطقه مقایسه شد و مشخص شد که پراکندگی غلظت عناصر سنگین در آب با رسوب مرتبط است و تحت تأثیر تغییرات pH قرار دارد و افزایش pH در نتیجه واکنش آب با سنگ‌های آهکی در بستر رودخانه موجب افزایش توان خودپالایی رودخانه می‌شود و با دور شدن از معدن، غلظت آلاینده‌ها روند کاهشی دارد.

**کلیدواژگان:** خودپالایی، فلزات سنگین، معدن مس سونگون، TDS، TSS.

## مقدمه

معادن سولفیدی در مراحل استخراج به دلیل افزایش غلظت عناصر سنگین می‌توانند سبب افزایش آلودگی در محیط زیست اطراف و اکوسیستم‌های پایین دست شوند [۱]. بر اثر فعالیت معدن‌کاری، سنگ و به‌ویژه باطله‌های معدنی در حضور اکسیژن هوا و رطوبت، دچار هوازدگی می‌شوند که از میان کانی‌های پیریت و پیردوتیت غالب در معادن سولفیدی در توده معدنی و باطله‌های معدنی، بزرگ‌ترین معضل زیست‌محیطی صنایع معدن‌کاری یعنی زهاب اسیدی را به وجود می‌آورند. کومه‌های باطله مهم‌ترین منبع تولید زهاب اسیدی است، هرچند با توجه به میزان بارندگی تولید زهاب متغیر است و در برخی موارد به‌ویژه در فصول خشک سال، زهکش‌های خروجی از کومه‌های باطله خشک‌شده و آب‌های خروجی فرآوری معدنی که در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها جریان می‌یابند می‌توانند فلزات سنگین بالقوه سمی را حمل کنند [۲]. فلزات سنگین سمی هستند و خاصیت زیست‌تجمعی و ماندگاری دارند. به طور کلی، این عناصر به طور طبیعی به میزان بسیار کم در اکوسیستم یافت می‌شوند که جزء آلاینده‌های بسیار پایدارند و تجزیه نمی‌شوند [۳].

فلزات سنگین، شامل فلزاتی می‌شود که چگالی زیاد (وزن مخصوص بیشتر از ۵ و عدد اتمی بالاتر از ۲۳) دارند و در مقادیر کم سمی هستند. به بیانی دیگر، چگالی بیش از پنج برابر آب دارند مانند آنتیموان، آرسنیک، بیسموت، کادمیوم، سزیم، کروم، کبالت، مس، گالیوم، طلا، آهن، سرب، منگنز، جیوه، نیکل، پلاتین، نقره، تلوریوم، تالیوم، قلع، اورانیوم، وانادیوم و روی. از میان فلزات سنگین، عناصر واسطه آرسنیک و سلنیوم (شبه‌فلزها)، کادمیوم، جیوه و سرب بیشترین توجه زیست‌محیطی را به خود جلب کرده‌اند. الگوی آلودگی‌ها متنوع است و برای مثال، آرسنیک می‌تواند به عنوان منشأ زمین‌زاد هم با نفوذ از طریق درز و شکستگی‌ها سبب آلودگی ناحیه شود [۴]. در مواردی تغییرات الگوهای آلودگی در گذر زمان می‌تواند ناشی از تغذیه آب‌های زیرزمینی صنعتی در منطقه تغذیه و همچنین، تبادل یونی معکوس در منطقه تخلیه باشد [۵]. بسیاری از عناصر یادشده نه تنها برای حیات بیولوژیکی ضروری نیستند، بلکه خاصیت سمی هم دارند [۶ و ۷]. از آنجا که هر رودخانه در ظرفیت پذیرش

آلاینده‌ها و خودپالایی آنها محدودیت دارد، بررسی کیفیت آب رودخانه و آگاهی از روند تغییرات توان خودپالایی اهمیت زیادی دارد. خودپالایی بازسازی کامل یا بخشی از حالت اولیه یک رودخانه است که به وسیله فرایندهای طبیعی، به دنبال ورود ماده‌ای خارجی (طبیعت و بیشتر انسان) که از لحاظ کیفیت و کمیت برای ایجاد تغییری قابل‌سنجش در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رودخانه کافی باشد، صورت می‌گیرد. هنگامی که مواد شیمیایی به رودخانه وارد می‌شوند، این مواد طی مهاجرت متحمل واکنش‌های تعاملی با آب از طریق مجموعه‌ای از فرایندها از جمله انحلال، ته‌نشینی، رسوب‌گذاری و لختی شدن دوباره شده و در نهایت، به عنوان رسوب بستر ته‌نشین می‌شوند [۸]. در این عمل ماده ورودی تحت تأثیر عوامل گوناگون تغییر می‌یابد و منجر به تولید ترکیباتی می‌شود که کمتر از ترکیبات اولیه روی کیفیت آب و حیات موجودات مؤثرند [۹]. در واقع، خودپالایی مجموعه فعل و انفعالاتی است که به صورت طبیعی در رودخانه اتفاق می‌افتد و در نتیجه، میزان آلودگی واردشده به آن، تا حد تبدیل آب به کیفیت مطلوب و استاندارد کاهش پیدا کند [۱۰]. همچنین، ظرفیت خودپالایی رودخانه تابع عوامل زمانی و مکانی، نوع و شدت بار آلاینده‌های ورودی و نیز شرایط محیطی بستر رودخانه است [۹].

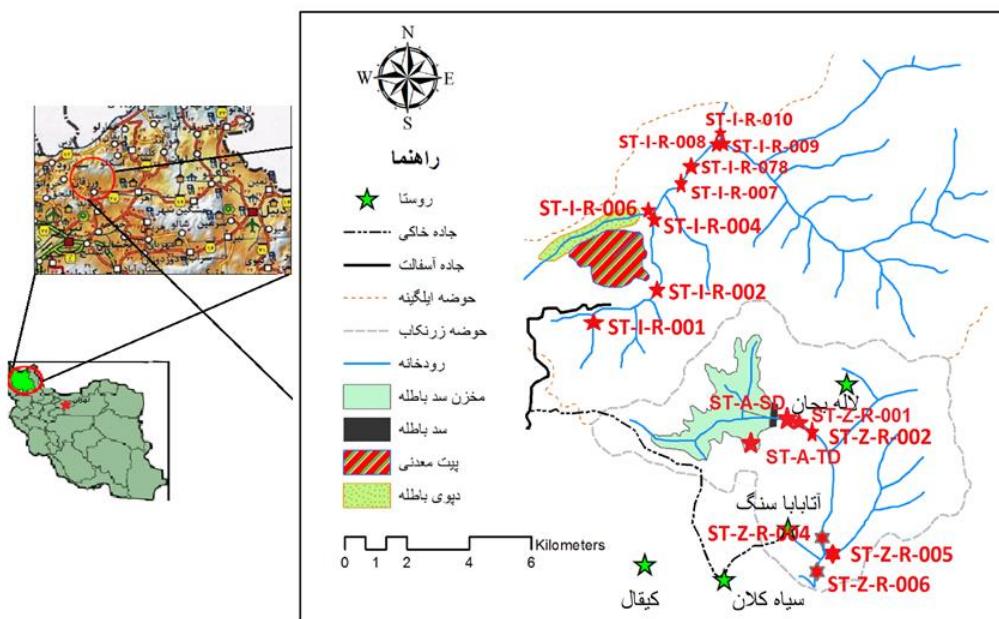
از جمله عوامل مؤثر بر خودپالایی رودخانه، جنس بستر رودخانه است و در صورت وجود آهک در بستر رودخانه، روی خودپالایی تأثیر می‌گذارد. سنگ آهک، سنگی رسوبی با منشأ شیمیایی یا زیست‌شیمیایی است که بیشتر از کلسیم کربنات تشکیل شده است. آهک با افزایش pH سبب ته‌نشینی فلزات و خروج آنها از فاز محلول می‌شود. به بیانی دیگر، کربنات کلسیم موجب خنثی شدن زهاب اسیدی می‌شود [۱۱]. مطالعات زیادی در مورد خودپالایی رودخانه‌ها در ایران انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات خودپالایی رودخانه‌های چشمه کیله شهرستان تنکابن، رودخانه کارون، رودخانه زاینده‌رود، رودخانه زهره و رودخانه بشار یاسوج اشاره کرد [۱۲]. در سایر رودخانه‌های دنیا نیز این مطالعات انجام شده است، از جمله می‌توان به مطالعات Wei و همکاران [۱۳] اشاره کرد که با استفاده از داده‌های ۲۰ ساله کمی و کیفی

### منطقه مطالعه شده

کانسار سونگون در ۸۵ کیلومتری شمال باختری شهرستان اهر و ۳۵ کیلومتری شمال ورزقان قرار گرفته است (شکل ۱). در این ناحیه باران زیادی می‌بارد و زمستان‌های سرد و طولانی همراه با برف دارد و دامنه‌های شمالی پوشیده از جنگل است و کارهای معدنی در زمستان به دشواری انجام می‌شود. میانگین بارندگی حدود ۷۵۰ میلی‌متر گزارش شده است [۱۴]. در منطقه یادشده دو حوضه آبریز ایلگینه و زرنکاب قرار دارد. در حوضه آبریز ایلگینه چای دو رودخانه دائمی سونگون چای و پخیرچای، توده کانسار را دور می‌زنند و در پایانه بلوک کانسار در گوشه شمال خاوری به یکدیگر می‌پیوندند و رودخانه ارغنه‌چای را تشکیل می‌دهند. این رود نیز بعد از پیوستن به رودخانه ایلگینه‌چای از سمت شمال به رودخانه ارس می‌پیوندد. حوضه آبریز زرنکاب که خود زیرمجموعه حوضه آبریز اهرچای است، به رودخانه اهرچای و سد ستارخان می‌پیوندد و سد باطله معدن سونگون روی این رودخانه احداث شده است.

رودخانه لانسنگ در چین، قدرت خودپالایی رودخانه را قبل و بعد از احداث سد بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد ۷ سال پس از احداث سد، وضعیت کیفی مخزن و همچنین آب رودخانه کمی پس از سد، بدتر شده، ولی پس از این دوره، وضعیت کیفیت آب در این قسمت بهبود یافته است.

به دلیل موقعیت قرارگیری معدن مس سونگون و توپوگرافی حاکم بر منطقه، خاک‌برداری و برهم زدن توپوگرافی طبیعی در وسعت زیاد، اجتناب‌ناپذیر بوده و این فعالیت دارای آثار متعددی همچون از بین رفتن پوشش گیاهی، برهم خوردن زهکشی طبیعی، فرسایش خاک و انحراف مسیر رودخانه‌ها و ایجاد سدهای باطله بوده است. در پژوهش حاضر سعی شده علاوه بر نوع آلودگی‌ها و پراکندگی آنها در محدوده مطالعاتی، خاصیت خودپالایی رودخانه‌های پایین دست معدن مس سونگون ارزیابی شده و دلایل و سازوکار کاهش غلظت آلاینده‌ها در مسیر رودخانه بررسی شود.

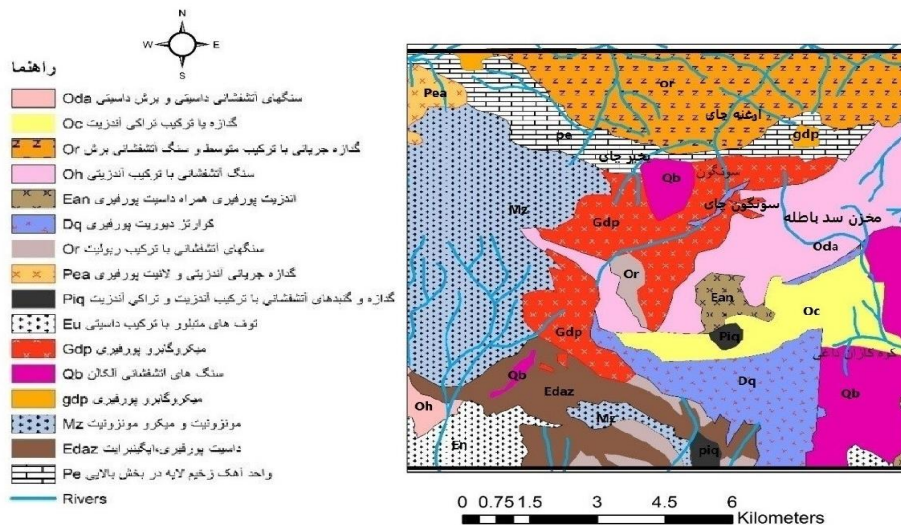


شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده و نقاط نمونه برداری

گرانودیوریت‌های شیورداغ باشد که در راستای گسله شرقی- غربی (گسله وندآباد) بالا آمده و دنباله تکاپوی این گسله در بخش شمالی، اسکارن‌ها را بالا آورده است. در سونگون نیز مانند بیشتر کانسارها مس پورفیری، قرارگیری توده پورفیری در محل تقاطع دو سری شکستگی است (شکل ۲).

### روش کار

منطقه سونگون از نظر ساختمانی بخش غربی از فلات ولکانیکی مرکزی بالا آمده در چهار گوشه اهر است که توسط حوضه فرورفته ارسباران در جنوب محدود می‌شود. گمان می‌رود که این ناحیه دنباله غربی گرانیت‌های و



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه

ایستگاه‌ها به این صورت است که در محدوده فعالیت‌های معدنی تعداد ایستگاه‌ها زیاد و همچنین فاصله آنها کم است و با دور شدن از این محدوده تعداد ایستگاه‌ها کاهش و فاصله آنها افزایش می‌یابد. نمونه‌برداری از جریان اصلی منطقه و همچنین، از نقاط با احتمال تأثیرپذیری زیاد انجام شده است. بر اساس هدف نمونه‌برداری و پارامترهای اندازه‌گیری، جزئیات نمونه‌برداری همانند مقدار نمونه، شرایط نگهداری و ظروف نمونه‌برداری مشخص شد. برای نمونه‌های فلزات سنگین از ظروف پلاستیکی به همراه افزودن چند قطره اسید نیتریک به نمونه‌ها و پس از برداشت برچسب خورد و در مجاورت یخ خشک به آزمایشگاه منتقل شد.

پارامترهای pH، EC، TDS و دما در محل نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه قابل حمل (Portable) اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های فلزات سنگین نیز با انتقال نمونه به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز به وسیله دستگاه جذب اتمی (analytic jena\_vairo06) اندازه‌گیری شد.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) طی پژوهشی تغییرات غلظت عنصر مس در زهاب پخیرچای در برخورد با آهک در مدل آزمایشگاهی را بررسی کردند [۱۵]. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده کاهش غلظت فلز مس نسبت به زمان، طی فرایند تصفیه پیوسته زهاب با استفاده از آهک بود. برای بررسی این فرایند در محیط واقعی با توجه به وجود سازند آهکی در دره پخیرچای به منظور بررسی تأثیر آن بر کاهش طبیعی غلظت آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های معدنی از آب‌های سطحی (رودخانه‌های) در زمستان ۱۳۹۶ و تابستان ۱۳۹۷ از ۹ ایستگاه منطقه نمونه‌برداری شد و پارامترهای کیفی آب و غلظت فلزات سنگین و سمی (Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, Ag, Al, Mn, Zn, Hg, Cd و B) مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲). نمونه‌برداری از شاخه‌های رودخانه ایلگینه‌چای که سیستم اصلی زهکشی محدود معدن است، از ابتدای خود ایلگینه‌چای صورت گرفته است (شکل ۱). نمونه‌برداری از ایستگاه ST-I-R-010 آغاز شد و به سمت بالادست ادامه یافت. پراکنش

جدول ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای

نام رودخانه	تعداد ایستگاه		نام ایستگاه
	تابستان	زمستان	
سונگون‌چای	۳	۳	ST-I-R-001 ST-I-R-002 ST-I-R-004
پخیرچای	۲	۲	ST-I-R-006 ST-I-R-007
ارغنه‌چای	۲	۲	ST-I-R-078 ST-I-R-008
میانکافه	۱	۱	ST-I-R-009
ایلگینه‌چای	۱	۱	ST-I-R-010

جدول ۲. نتایج آنالیز عناصر سنگین و سمی در فصل گرم در ایستگاه‌های نمونه برداری

ایستگاه‌های نمونه برداری	Fe (mg/l)	Al (mg/l)	Hg (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)
ST-I-R-001	0.046	0.05	0	0	0.026	0.15	0.23
ST-I-R-002	0.12	0.084	0	0	0.007	0.18	0.35
ST-I-R-004	5.32	1.07	0	0.087	0.003	0.22	3.03
ST-I-R-006	5.67	41.66	0	1.33	0.4	24.22	50.1
ST-I-R-007	4.74	40.5	0	1.22	0.032	21.72	40.75
ST-I-R-078	0.5	0.022	0	0	0.033	3.68	1.14
ST-I-R-008	0.1	0.029	0	0	0.023	2.35	1.64
ST-I-R-009	0.18	0.014	0	0	0.006	0.13	0.15
ST-I-R-010	0.34	0.019	0	0	0.014	1.84	0.85
ST-A-TD	0.0528	-	0	0	0.2	0.1926	0.2574
ST-A-SD	0.1079	-	0	0	0.3	0.3441	0.1985
ST-Z-R-001	0.134	0.214	0	0.041	0	0	0.014
ST-Z-R-002	0.172	0.347	0	0.14	0	0	0
ST-Z-R-004	0.15	0.325	0	0	0	0.17	0.025
ST-Z-R-005	0.163	0.413	0	0.041	0	0	0
ST-Z-R-006	0.243	0.324	0	0.21	0	0	0

$$HPI = \frac{\sum W_i q_i}{\sum W_i} \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $iW$  نسبت وزنی  $i$  امین مؤلفه است که از طریق معکوس استاندارد محاسبه می‌شود ( $W_i = \frac{1}{S_i}$ ) و  $q_i$  مقدار کیفی  $i$  امین مؤلفه است که از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. در این معادله  $iV$  غلظت  $i$  امین مؤلفه،  $S_i$  مقدار استاندارد  $i$  امین مؤلفه است [۱۸].

$$q_i = \frac{V_i}{S_i} \times 100 \quad (3)$$

اگر HPI بیشتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده است و در صورتی که برابر ۱۰۰ باشد، آب در آستانه خطر آلودگی فلزات سنگین قرار دارد و اگر HPI کمتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده نیست. میزان کاهش آلاینده‌ها با دور شدن از منبع آلودگی بر اثر فرایند خودپالایی رودخانه و همچنین میزان همبستگی فلزات محلول و TDS، TSS با میزان pH بررسی شد. داده‌ها با نتایج به دست آمده از تحقیقات قبلی که غلظت عناصر سنگین در خاک و رسوب منطقه معدن مس-مولیبدن سونگون بررسی کرده بودند، مقایسه شد و میزان کاهش غلظت آلودگی در حوضه ایلگینه مورد بررسی قرار گرفت.

در پژوهش حاضر برای بررسی آلودگی ناشی از فلزات سنگین از شاخص‌های آلودگی (شاخص فلزی MI<sup>۱</sup> و شاخص آلودگی فلز سنگین HPI<sup>۲</sup>) استفاده شد که به ترتیب از روابط ۱ و ۲ به دست می‌آید. شاخص آلودگی ابزاری قوی و نیرومند برای تبدیل داده‌های خام زیست‌محیطی برای ارائه به عموم، مدیران و تصمیم‌گیران است. این شاخص به دو گونه شاخص‌های منفرد<sup>۳</sup> و شاخص‌های ترکیبی<sup>۴</sup> تقسیم می‌شود. شاخص منفرد برای محاسبه آلودگی تنها یک فلز به کار می‌رود و شامل فاکتور آلودگی، فاکتور ریسک اکولوژیکی، فاکتور غنی‌شدگی و... می‌شود. شاخص‌های ترکیبی نیز بیانگر آلودگی بیش از یک فلز و بر اساس شاخص‌های منفرد هستند. شاخص فلزی MI و شاخص آلودگی فلز سنگین HPI از جمله شاخص‌های ترکیبی استفاده شده برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین هستند [۱۷].

$$MI = \sum C_i / (MAC_i) \quad (1)$$

که در آن  $MAC_i$  حداکثر مقدار مجاز و  $iC$  غلظت فلز است. برای متغیر  $iMAC$  از استاندارد آب شرب ایران (۱۳۸۸) استفاده شده است. حد قابل قبول این شاخص ۱ است و مقادیر زیاد نشان‌دهنده آلودگی است.

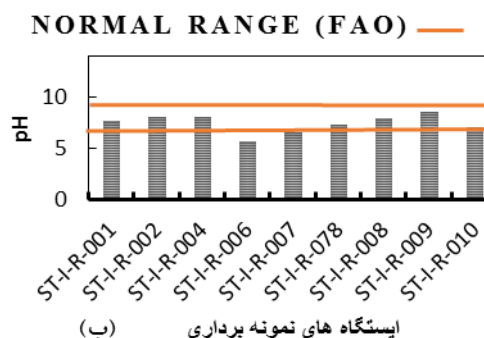
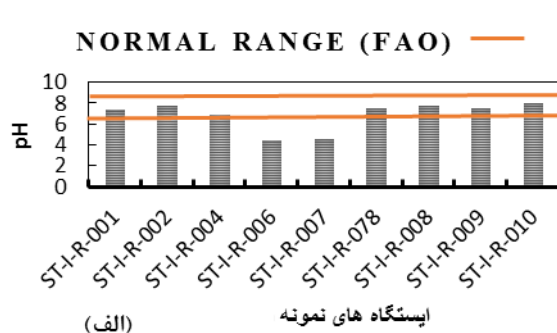
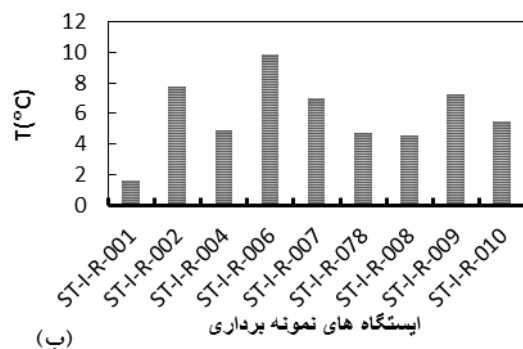
1. Metal Index
2. Heavy metal Pollution Index
3. Single Indices
4. Integrated Indices

## یافته‌ها

عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) تغییرات غلظت عناصر مس در زهاب پخیرچای بر اثر تماس با آهک را در مدل آزمایشگاهی بررسی کرده‌اند [۱۵]. آهک مقدار pH زهاب را افزایش می‌دهد و موجب خروج عناصر سنگین از فاز محلول و کاهش غلظت عناصر سنگین در آن می‌شود. با توجه به نتایج مطالعه عزیزی و همکاران و به دلیل وجود سازند آهکی در دره پخیر (شکل ۲) و سنگ‌های آهکی بستر رودخانه پخیرچای، انتظار می‌رود فرایند مشابهی در رودخانه ایلگینه‌چای رخ داده باشد.

میزان دما در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری متأثر از شرایط طبیعی به‌ویژه فصل نمونه‌برداری و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری است (شکل ۳). دما در

اندازه‌گیری‌های pH نقش مهمی دارد. با افزایش دما، ارتعاشات مولکولی افزایش می‌یابد که منجر به توانایی آب در یونیزه شدن و ایجاد یون‌های هیدروژن می‌شود (به این نکته باید توجه شود که pH مربوط به فعالیت  $H^+$  است نه غلظت آن) و در نتیجه pH کاهش می‌یابد. مقدار pH در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای به غیر از ایستگاه ST-I-R-006 و ST-I-R-009 در محدوده استاندارد مصرف کشاورزی و آبیاری براساس استاندارد FAO [۱۶] قرار دارد. به علت عبور رودخانه پخیر از دامپ باطله و واکنش با کانی‌های سولفیدی pH کاهش یافته و با رسیدن به ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 روند افزایش pH در نمونه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. مقدار pH در فصل گرم (الف) و سرد (ب) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای

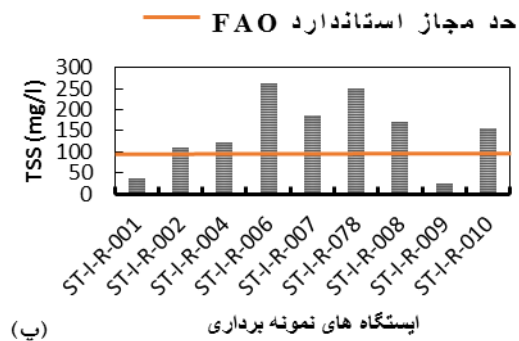
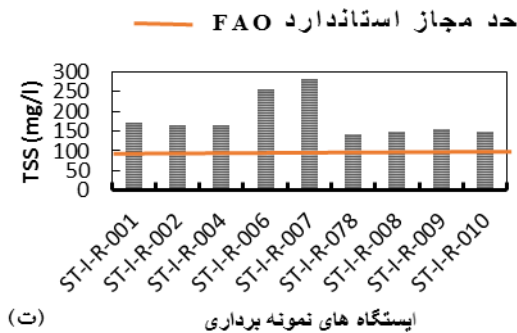
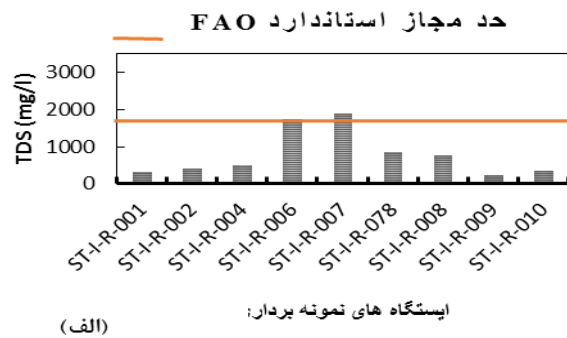
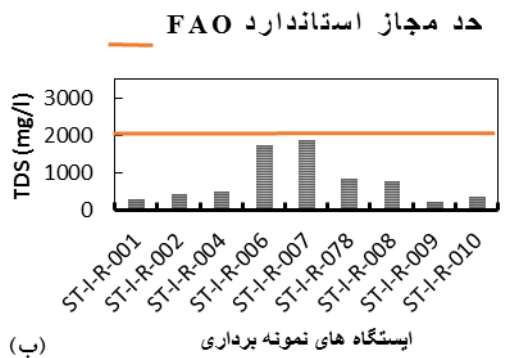
شامل جامدات معلق می‌شود. جامدات معلق شامل مواد مختلفی همانند سیلت، مواد نباتی و جانوری تجزیه‌پذیر، مواد باطله صنعتی و همچنین، فاضلاب‌هاست. جامدات محلول نیز شامل کربنات، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، فسفات، نیتрат، کلسیت، منیزیم، سدیم، یون‌های عالی و

مواد جامد محلول (TDS) و مواد جامد معلق (TSS) در مجموع کل مواد جامد (Total solids) آب را تشکیل می‌دهند. جامدات محلول شامل موادی هستند که با عبور از صافی با متوسط قطر منافذ ۰/۲ میکرومتر یا کوچک‌تر عبور می‌کنند و موادی که روی صافی باقی می‌مانند،

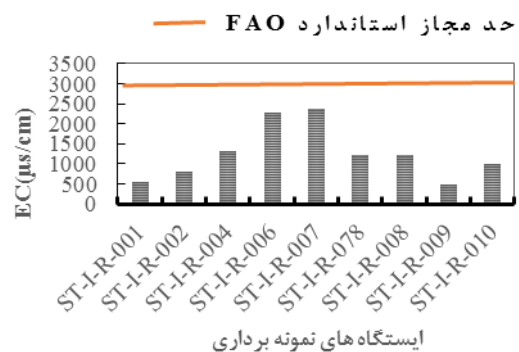
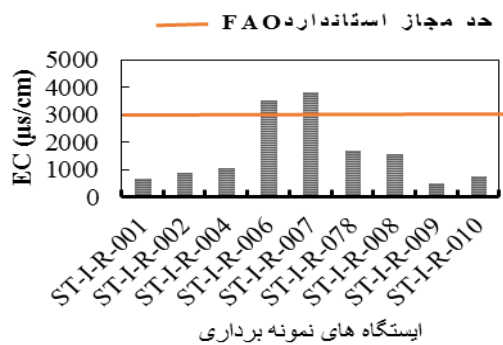


بسترهای گرانیتهی دارای هدایت الکتریکی کم و بسترهای رسی دارای هدایت الکتریکی زیاد هستند. بر اساس استاندارد مصرف کشاورزی و همچنین، استاندارد FAO هدایت الکتریکی در تمام ایستگاهها به غیر از ایستگاه ST-I-R-007 و I-R-006 در نمونه برداری فصل گرم مجاز است. همچنین، مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه ST-I-R-006 و ST-I-R-007 اختلاف زیادی با دیگر ایستگاههای نمونه برداری دارد (شکل ۵).

سایر یون هاست. از نظر مقدار مجاز جامدات محلول (TDS) تمام ایستگاهها در محدوده مجاز استاندارد FAO قرار دارند (شکل ۵). از نظر مقدار مجاز جامدات معلق (TSS) تمام ایستگاهها بیشتر از محدوده مجاز استاندارد FAO قرار دارند (شکل ۴). هدایت الکتریکی نشان دهنده توانایی آب برای عبور جریان الکتریکی است. زمین شناسی ناحیه در میزان هدایت الکتریکی رودخانهها تأثیر گذار است، به طوری که



شکل ۴. مقدار TDS و TSS در فصل گرم (الف و ب) و سرد (ب و ت) در ایستگاههای نمونه برداری حوضه ایلگینه چای



شکل ۵. مقدار EC در فصل گرم (الف و ب) و سرد (ب) در ایستگاههای نمونه برداری حوضه ایلگینه چای

پراکندگی غلظت روی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای نشان می‌دهد بیشترین مقدار غلظت روی مربوط به ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 به ترتیب به مقدار ۳/۲۵۲۷ و ۳/۳۲۲ است که بیشتر از حد استاندارد سازمان غذایی و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) است که به دلیل کاهش pH در ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 و غلظت در آب بالادست که به سمت پایین دست و با افزایش pH در مسیر رودخانه بر اثر تماس با سنگ‌های آهکی کاهش می‌یابد (شکل ۶.خ).

برای پراکندگی غلظت کادمیوم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای، بیشترین میزان غلظت مربوط به ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 به ترتیب به مقدار ۰/۰۵۱۷ و ۰/۰۴۹۳ که بیشتر از حد استاندارد سازمان غذایی و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) است. علت این افزایش غلظت، عبور پخیرچای از محل دپوی باطله انحلال فلزات است که به سمت پایین دست و با افزایش pH رسوب می‌کند و میزان غلظت کاهش می‌یابد (شکل ۶.ذ). پراکندگی غلظت جیوه در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای در ایستگاه‌های ST-I-R-004 و ST-I-R-006 و ST-I-R-007 بیشتر از حد استاندارد سازمان غذایی و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) است که مقدار آن به ترتیب ۰/۱۰۷، ۰/۴۱۶ و ۰/۳۱ بوده و با توجه به نبود جیوه در ایستگاه بالادست معدن ST-I-R-001 علت افزایش غلظت در این ایستگاه‌ها عبور پخیر از پیت معدن و فعالیت‌های معدن کاری است که با حرکت به سمت پایین دست و کاهش pH و بر اثر واکنش آب رودخانه با سنگ آهک دره پخیر، میزان آن به سمت پایین دست کاهش می‌یابد و از ایستگاه ST-I-R-078 به بعد جیوه مشاهده نمی‌شود (شکل ۶.ز).

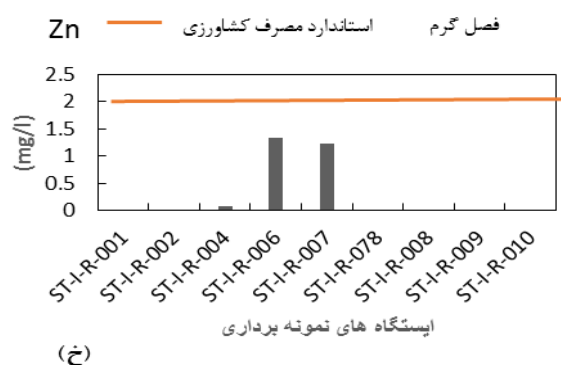
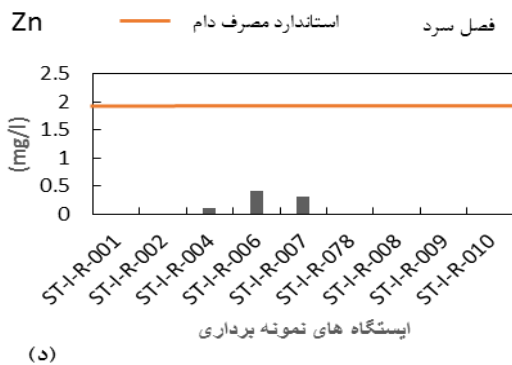
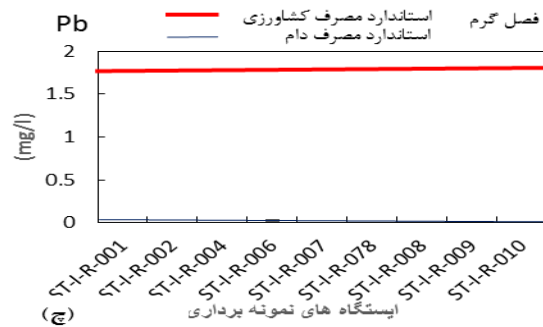
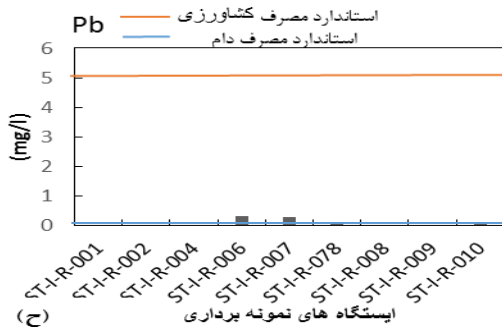
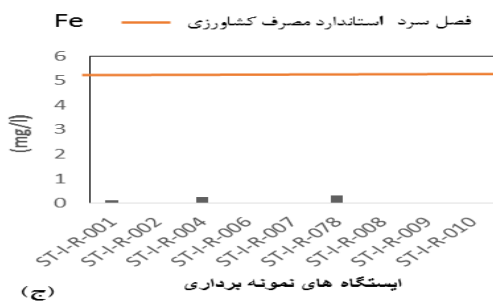
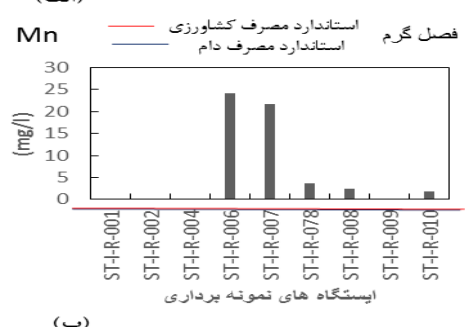
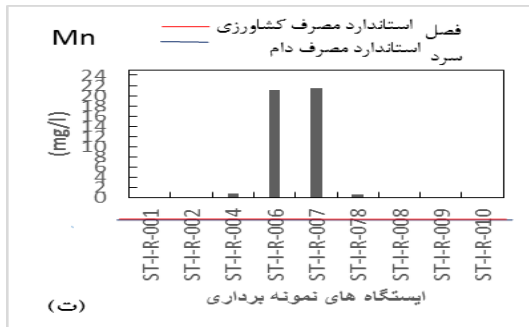
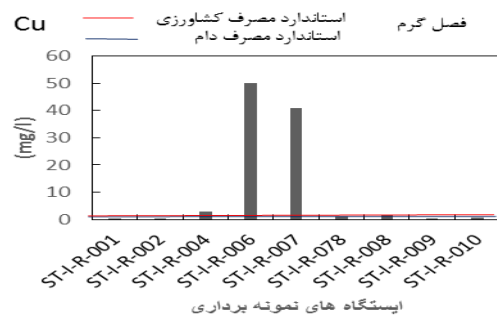
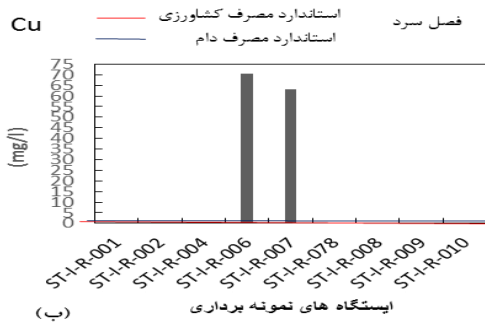
درخور یادآوری است که فلزات ید، کروم، نقره، آلومنیوم و نیکل و جیوه در فصل گرم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری وجود نداشت.

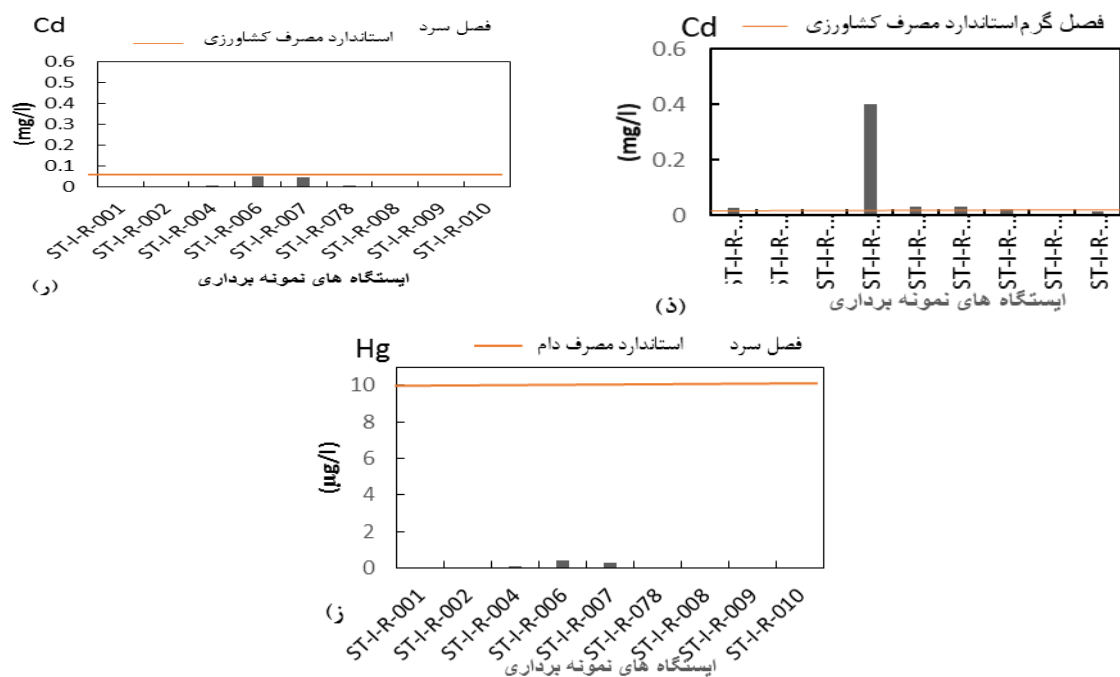
اندازه‌گیری فلزات سنگین و سمی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ایلگینه‌چای نشان داد پراکندگی غلظت منگنز در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای به غیر از نمونه‌های برداشته شده از ایستگاه ST-I-R-006 و ST-I-R-007 در بقیه نمونه‌ها غلظت نزدیک به هم و کمتر از حد استاندارد سازمان غذایی و کشاورزی ملل متحد (FAO) است. بیشتر غلظت منگنز مربوط به ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 به ترتیب ۲۱/۱۷ و ۲۱/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر بود که به علت عدم استحصال منگنز از سنگ معدن و غلظت زیاد آن در دامپ باطله که رودخانه پخیر از آن عبور می‌کند و با پیوستن به رودخانه سونگون‌چای، سبب افزایش غلظت منگنز می‌شود و به سمت پایین دست غلظت منگنز کاهش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند کاهش غلظت بر اثر خاصیت خودپالایی رودخانه از جمله رسوب و رقیق شدن و کاهش pH تحت تأثیر سنگ‌های آهکی دره پخیرچای باشد (شکل ۶.ب).

بیشترین مقدار غلظت مس در نمونه‌ها مربوط به ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 به ترتیب ۷۰/۴۷ و ۶۳/۱ میلی‌گرم بر لیتر است که بیشتر از حد استاندارد FAO است. دلیل این غلظت زیاد، عبور رودخانه پخیر از میان باطله‌ها و شست‌وشوی مس است که در این دو ایستگاه pH کم بوده و سبب افزایش انحلال عناصر سمی شده است. با ورود زهاب به بستر آهکی رودخانه، روند تغییرات به سمت پایین دست با افزایش pH کاهشی بوده و مس و آهن به صورت سولفات آبدار آهن و مس (کالکانتیت  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) یا کات کبود) روی رسوبات کف رودخانه رسوب می‌کند (شکل ۶.و). که در دره پخیرچای به صورت رنگ آبی سطح رسوبات آبراهه‌ها مشخص می‌شود.

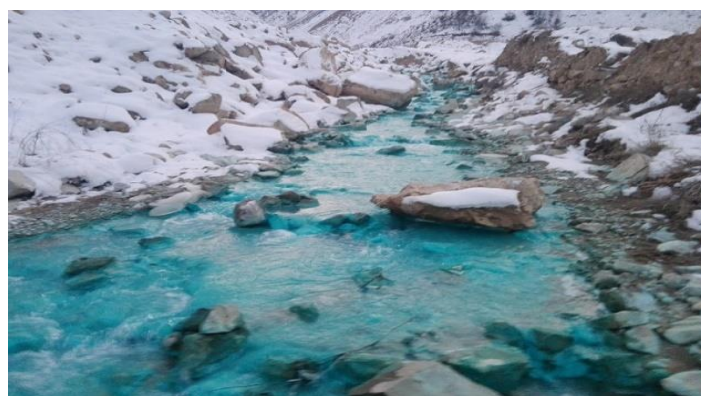
غلظت مس فقط در ایستگاه ST-I-R-010 به مقدار ۰/۲۹ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده می‌شود. این ایستگاه بعد از الحاق رودخانه میانکافه قرار دارد، به دلیل اینکه هیچ‌گونه فعالیت معدنی در حوضه رودخانه میانکافه وجود ندارد. منشأ افزایش جزئی غلظت مس می‌تواند زمین‌زاد بوده و از سنگ‌های منطقه آزادشده باشد (شکل ۶.الف).







شکل ۶. پراکندگی غلظت فلزات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مس (الف و ب)، منگنز (پ و ت)، آهن (ث و ج)، سرب (چ و ح)، کادمیوم (د) و روی (خ و د)، جیوه (ز).



شکل ۷. رسوب مس به صورت کات کبود روی سنگ‌های کف رودخانه پخیرچای [۱۲]

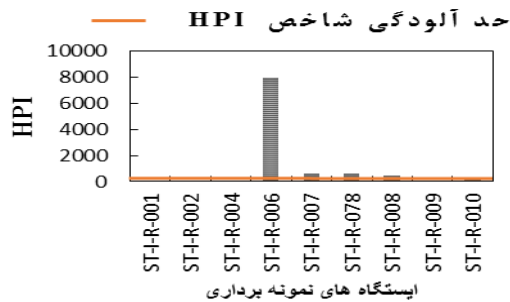
پایین دست قرار گرفته به ترتیب با میزان MI، ۰/۸۶ و به دلیل فرایند خودپالایی رودخانه آلودگی در آن کاهش یافته است و در ایستگاه ST-I-R-001 و ST-I-R-002 به میزان ۰/۳۳ و ۰/۳۵ که در سونگون چای واقع شده‌اند که در آن هیچ‌گونه باطله‌ریزی انجام نگرفته است. با این وجود، مقادیر MI در ایستگاه‌های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 واقع در پاشنه باطله، به ترتیب به میزان ۵۰/۳۴ و ۴۰/۶۶ است و در ایستگاه ST-I-R-001 و ST-I-R-002 که مربوط به سونگون چای است و هیچ باطله‌ریزی در آن صورت نگرفته و میزان شاخص MI برابر ۰/۳۳ و ۰/۳۵ است.

به منظور بررسی و ارزیابی بهتر وضعیت آب‌های سطحی حوضه ایلگینه‌چای و زرنگاب شاخص MI و HPI آخرین دوره نمونه‌برداری (تابستان ۱۳۹۷) برای عناصر Cu و Cd (به عنوان دو عنصر آلاینده با غلظت زیاد در ایستگاه‌ها) محاسبه شد و با استانداردهای موجود مورد مقایسه قرار گرفت.

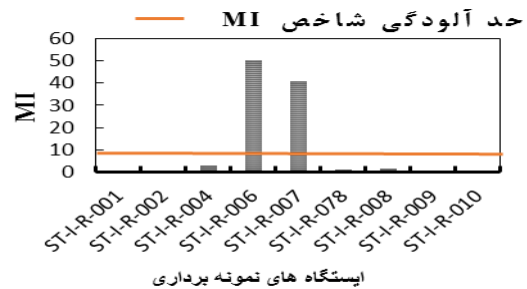
شاخص فلزی (MI): میزان MI در حوضه ایلگینه‌چای برای عناصر یادشده در بیشتر ایستگاه‌ها بیشتر از یک است و از نظر این شاخص بیشتر ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای نسبت به عناصر یادشده، آلوده طبقه‌بندی می‌شود، به غیر از ایستگاه ST-I-R-010 که در

ارزیابی شدند. همچنین، بیشترین میزان شاخص آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه ST-I-R-006 به میزان ۷۹۸۵ است که در پاشنه باطله قرار دارد (شکل ۸). پراکندگی غلظت فلزات سنگین تحت تأثیر pH قرار دارد و با افزایش pH، غلظت آن در آب کاهش می‌یابد (شکل ۹).

شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI): شاخص HPI مربوط به بررسی آثار فلزات سنگین روی کیفیت آب است. این شاخص برای ایستگاه‌های حوضه آبریز ایلگینه‌چای و زرنگاب محاسبه شد. در حوضه آبریز ایلگینه‌چای تمام ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه ST-I-R-001 و ST-I-R-004 میزان این شاخص بیشتر از ۱۰۰ بوده است، بنابراین آلوده

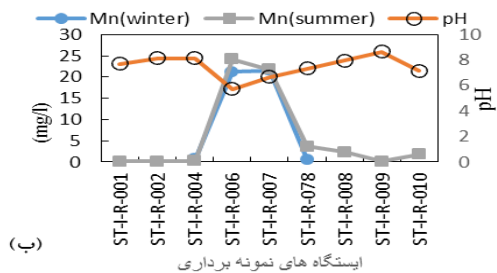


(ب)

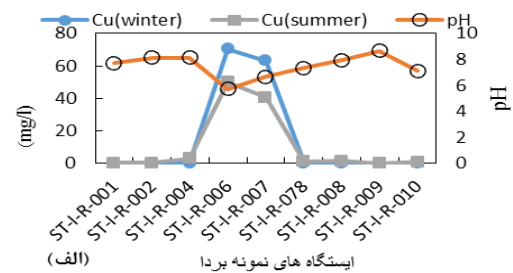


(الف)

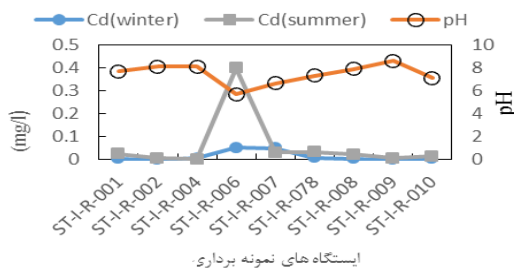
شکل ۸. شاخص MI (الف) و HPI (ب) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای



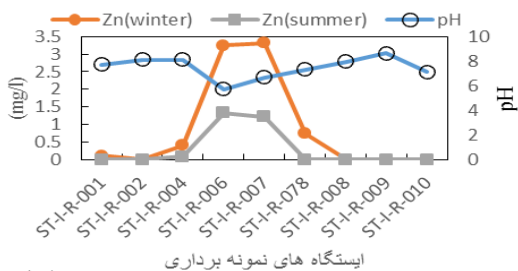
(ب)



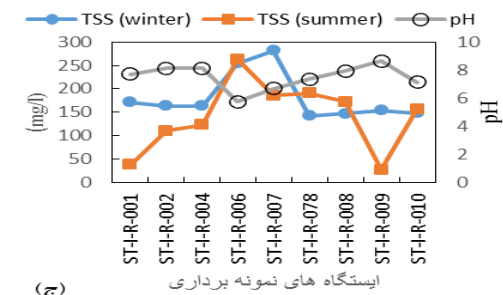
(الف)



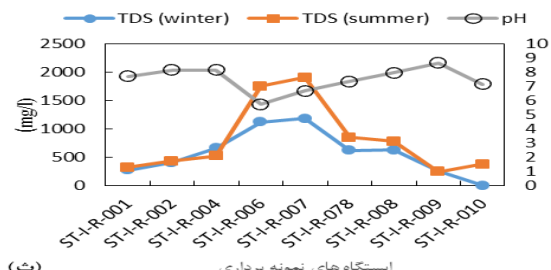
(ت)



(پ)



(ج)



(ث)

شکل ۹. مقایسه تغییرات pH با غلظت مس (الف)، منگنز (ب)، روی (پ)، کادمیوم (ت)، TDS (ث)، TSS (ج)، در ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه ایلگینه‌چای

در مطالعات عقلی و همکاران (۱۳۹۳) که غلظت عناصر سنگین در خاک و رسوب منطقه معدن مس-مولیبدن سونگون را بررسی کرده بودند [۱]، ضریب آلودگی مس در ایستگاه ایلگینه‌چای ۲/۰۹ با شدت آلودگی متوسط، ضریب آلودگی روی ۰/۶۵ با شدت آلودگی فاقد آلودگی و ضریب آلودگی منگنز ۱/۴۴ با شدت آلودگی ملایم مشخص شده بود. در مطالعه حاضر نیز برای بررسی، پراکندگی مکانی فلزات Cu، Mn و Zn اندازه‌گیری انجام شد و نتایج زیر به دست آمد: با توجه به نزدیک بودن ایستگاه‌های I-S-001، I-S-002 و I-S-008 با ایستگاه‌های ST-I-R-006، ST-I-R-007 و ST-I-R-010 نتایج به دست آمده مقایسه شد. پراکندگی غلظت روی، مس و منگنز در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشابه آب و رسوب حوضه ایلگینه‌چای (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت مس، روی و منگنز در نمونه آب و رسوب مربوط به ایستگاه‌های نمونه رسوب I-S-002 و نمونه‌های آب ST-I-R-006 و ST-I-R-007 است که مربوط به پخیرچای و در نزدیکی دامپ باطله است. بر این اساس، می‌توان گفت که رابطه مستقیمی بین پراکندگی فلزات در آب و رسوب برقرار است. به بیان دیگر، به دلیل ارتباط بین آب رسوب، فلزات می‌توانند بین دو محیط یادشده مبادله شوند و از فاز محلول به فاز رسوب مهاجرت کنند.

جدول ۳ نشان می‌دهد ارتباط pH با Cu (به عنوان اصلی‌ترین آلاینده در آب رودخانه) همبستگی زیادی دارد، چون سطح معناداری در حد قابل قبول (sig.=0.000) و مقدار F برابر با ۲۲/۷۲ است، بنابراین فرضیه صفر رد می‌شود.

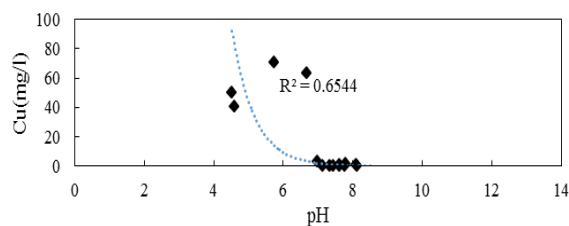
همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده از نرم‌افزار تأثیر pH بر غلظت مس محلول در آب رودخانه ۰/۸ است و نتیجه کلی آن به صورت رابطه ۴ است.

$$Cu = 111513e^{-1.567pH} \quad (۴)$$

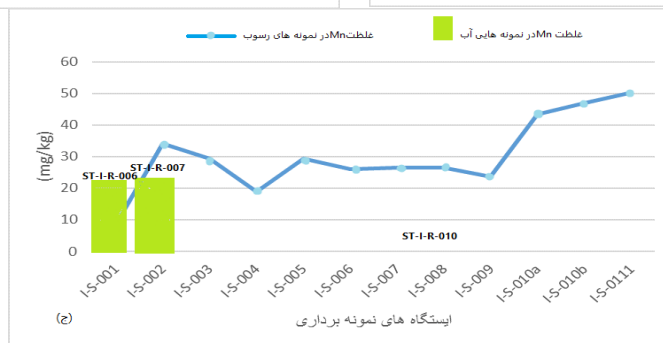
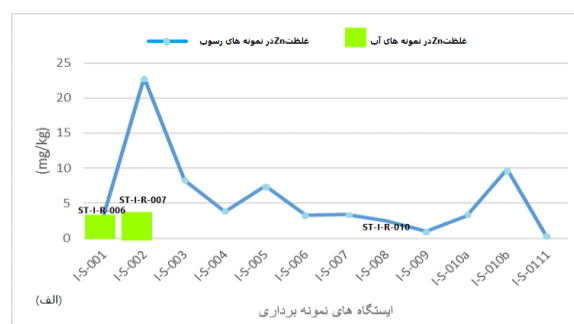
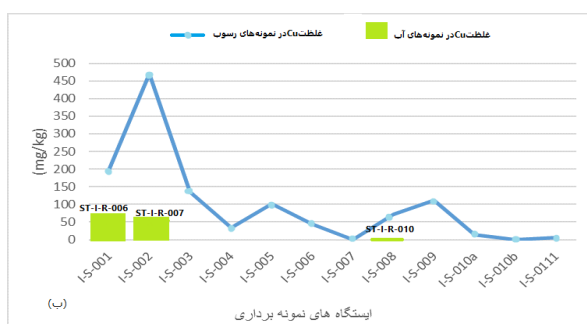
ارتباط بین pH و Cu در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۳. پارامترهای مدل

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.809	.654	.626	1.406



شکل ۱۰. نمودار Cu و PH



شکل ۱۱. پراکندگی غلظت روی (الف)، مس (ب) و منگنز (ج) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشابه آب و رسوب حوضه ایلگینه‌چای

- metals in the Yangtze: Estuarine sediments, 2004; china Adiluting.
- [2]. Gupta, A., Gupta, S., and Patil., R. Statistical analyses of coastal water quality for a port and harbor region in India: Environmental Monitoring and Assessment, 2009; 102:179–200.
- [3]. Moattar F., Javadi E., Karbassi A., Monavvari SM. Surveying on decontamination Effect of Water Lily (*Nymphaea Alba*) for Heavy Metals (Pb, Cd and Mn) in Liquid Solution. Human and Environment. 2011; Vol 9, Issue 16: 41-50. (Persian).
- [4]. Nadiri, A.A., Sadeghi Aghdam, F., Khatibi, R., Asghari Moghaddam, A. The problem of identifying arsenic anomalies in the basin of Sahand dam through risk-based soft modelling. Science of the total environment. 2017; 613-614: 693-706.
- [5]. Nadiri, A.A., Asghari Moghaddam, A., Tsai, F., Fijani, E. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. J. Earth Syst. Sci. 2013; 122, No. 4: 1091-1105.
- [6]. Forte, G., Petrucci, F., Bocca, B. Metal allergens of growing significance epidemiology immunotoxicology strategies for testing and prevention. inflamm allergy drug targets. 2008; 7: 145-162.
- [7]. Thyssen, J. P., Menne, T. Metal allergy a review on exposures penetration genetics prevalence and clinical implication. Chem Res Toxicol, 2009; 23, 309-318.
- [8]. Lee S., Moon JW., Moon HS. heavy metals in the bed and suspended sediments of Anyang River: Korea. Implications for water quality, Environmental Geochemistry and health, 2003.
- [9]. Ansaripour A H., Ebrahimi K., Omid M H. A Mathematical Model for River Flow Assimilation: A Case Study of Pasikhan River, Iran. Journal of Agricultural Engineering Research. 2013; Vol.14; No.2; P:31-42. (Persian).
- [10]. Hosseini Y., Kashkouli H., Azari A., Boroumandnasab S., Moazeb H. Calculating the purification capacity of a part of Karkheh river to enter the municipal sewage and comparing it with the current situation of the river. First Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran. 2006. (Persian).
- [11]. Maree J.P., Du Plessis P., Van der Walt C.J. Treatment of acid effluents with limestone instead of lime. Water Sci. Technol. 1992; 26, 345e355.

## بحث و نتیجه گیری

بر اساس آنالیز نمونه مشخص شد که از بین فلزات سنگین و سمی، اصلی ترین عنصر آلاینده در حوضه ایلگینه و زرنگاب مربوط به فلز مس، منگنز و کادمیوم است. همچنین، بیشترین میزان آلودگی مربوط به ایستگاه های ST-I-R-006 و ST-I-R-007 است که در پاشنه باطله در دره پخیر قرار دارند و در نتیجه، در رودخانه پخیرچای با گذشتن از محل انباشته باطله به علت کاهش pH در نتیجه واکنش آب با کانی های سولفیدی میزان عناصر آلاینده محلول افزایش می یابد. از نظر شاخص فلزی (MI) تمامی ایستگاه ها آلوده هستند به غیر از ایستگاه های ST-I-R-009 و ST-I-R-010 که در پایین دست قرار دارند و به علت پتانسیل خودپالایی رودخانه میزان آلاینده ها در آنها کاهش یافته است. شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نیز در تمام ایستگاه ها به غیر از ایستگاه ST-I-R-001 و ST-I-R-004 بیشتر از ۱۰۰ است، بنابراین آلوده ارزیابی شدند. همچنین، بیشترین میزان شاخص آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه ST-I-R-006 است که در پاشنه باطله قرار دارد.

در رسوبات نیز در این محدوده میزان آلاینده ها زیاد است و پراکندگی غلظت عناصر سنگین در آب و رسوب دارای ارتباط بوده و تحت تأثیر تغییرات pH قرار دارد. مس در میان عناصر سنگین به علت غلظت زیاد در حوضه ایلگینه چای به عنوان اصلی ترین آلاینده تلقی می شود که تأثیر pH بر غلظت مس محلول در آب ۰/۸ است. عناصر سنگین دیگر موجود در محیط رفتاری مشابه مس را از خود نشان می دهند. بین pH و غلظت عناصر سنگین و سمی در آب رودخانه های منطقه رابطه عکس وجود دارد، به طوری که با کاهش pH غلظت عناصر سنگین و سمی در آب افزایش می یابد و با دور شدن از محل انباشته باطله و به سمت پایین دست بر اثر واکنش با سنگ های آهکی بستر رودخانه، میزان آلودگی روند کاهشی را نشان می دهد که در ایستگاه های پایین دست ST-I-R-009 و ST-I-R-010 میزان آلودگی به عناصر سمی و سنگین مختلف بسیار کم و نزدیک صفر است.

## منابع

- [1]. Chen Z., Saito S., Kanai, Y., Wei, T., Li L, Yao and et al. Low concentration of heavy

- [12]. Mahjoubi., R. Study of self-purification Ilginechay and Zarankabchay Rivers and tailing dam at the vicinity of the Sungun mine. Master Thesis in Environmental Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz; 2019. (Persian).
- [13]. Wei G.L., Yang Z.F., Cui B.S., Li B., Chen H., Bai JH., Dong SK. Impact of dam construction on water Quality and water self-purification capacity of the Lancang river, china, water resource management. 2009; 23: 1763 – 1780.
- [14]. Mollapiri H. Investigation of surface and groundwater pollution to heavy metals in the area of copper-molybdenum Sungun mine. Master Thesis in Environmental Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz; 2013. (Persian).
- [15]. Azizi B. Providing solutions for treatment and purification of acidic mineral drainage in Pakhir valley, Songun mine. Master Thesis in Environmental Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz; 2015. (Persian).
- [16]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- [17]. Reza R., and Singh G. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. International Journal of Environmental Science and Technology. 2010; 7(4), 785-792.
- [18]. Ameh EG., Akpah FA. Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogechemistri of river Povpov in itakpe irob-ore mining area, kogi state, Nigeria. Advancesin Applied Science Research. 2011; 2(1):33-46.
- [19]. Aghili S. Investigation of the concentration of heavy elements in the soil and sedimentation of the Molibden Sungun copper region. Master Thesis in Environmental Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz; 2014. (Persian).